

평면연삭 공정에서의 표면 거칠기 기상계측 On-the-machine measurement of surface roughness in a surface grinding process

김 현 수,

금오공대 정밀기계과
Hyun-Soo Kim

Kum oh National Univ. of Tech.

홍 성 욱

금오공대 정밀기계과
Seong-Wook Hong

Kum oh National Univ. of Tech.

- ABSTRACT -

This paper deals with an on-the-machine measurement method for roughness of ground surface by using flux ratio of scattered lights. A sensor and control unit is developed so as to be applied to surface grinding processes. The performance of the sensor is compared with that of stylus. The experimental investigation shows that not only the sensor has good performance as a surface roughness sensor but also the sensor is very useful for monitoring grinding condition in order to detect ill-conditioned grinding or dressing time.

1. 서론

제품 가공을 완료하기까지 연속되는 많은 공정 중에서 연삭 공정은 대체로 마무리 작업에서 실행된다. 그러므로 연삭공정에서의 정밀도는 해당제품의 질을 결정하는 중요한 요소가 된다. 연삭표면의 정밀도를 나타내기위해 표면 거칠기를 측정하는 것이 일반화되어 있는데 보편적으로 연삭공정 종료 후 시행하여 합격·불합격 판정만을 하고 연삭작업의 특성상 원래 상태로의 장치가 어려우므로 불합격품은 폐기하여 왔다. 따라서 연삭 가공물을 연삭기에서 이탈시키지 않고 표면을 측정할 수 있는 기상(On-the-machine)측정과 가공중(In-process 또는 Inter-process) 측정의 필요성이 꾸준히 제기되어 왔으며 많은 연구가 계속되어 왔다[1,2]. 그 중에서도 측정장치 구성의 간결성이나 효율성을 고려할 때 광산란법이 기상계측에 가장 적합한 방법으로 평가되고 있다[1-3]. 특히 이러한 차원에서 표면 거칠기를 측정하기 위한 실용적인 이론식과 새로운 광속비 측정방식이 제안되었고 이론적인 검토와 실험을 통해 광속 측정방식은 구현하기 쉽고 정규분포 표면에 대해 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있음이 확인된 바 있다[4,5].

개발된 측정센서가 표면 거칠기 측정은 물론 드레싱이 필요한 시기나 표면연소 등 표면상태의 변화를 효과적으로 감지할 수 있었다. 개발센서와의 비교를 위해 Stylus 방식의 측정도 병행하였는데 유사한 경향을 발견할 수 있었으며, 표면 전체에 대한 표면 거칠기 평균값을 산출하기 위해 표면 전체 면적에 대해 탐색하는 방식으로 표면 거칠기를 측정할 경우 개발된 센서는 기존의 방식보다는 월등히 시간을 단축할 수 있었다.

2. 평면연삭 공정에서의 표면 거칠기 측정센서 개발

2.1 표면에서의 산란현상

Fig. 1은 산란광속을 측정하기 위한 기본 개념을 설명하고 있다. 표면에 입사된 광은 표면의 형상으로 인해 산란되는데 표면이 기울수록 정반사 방향(Specular direction)으로 집중되고 표면이 기칠수록 난 반사 방향(Diffusely direction)으로 분산된다. 이때 정반사 방향에 집광렌즈를 두면 렌즈의 유효 수광각(θ_0)안으로 반사하는 광은 렌즈를 통해 집중되어 광속을 측정하게 된다. 이때 렌즈에 포착되는 반사광을 적분하는 효과가 있으므로 장치나 표면의 미소한 변화 등 기계적인 오차에 둔감한 특성을 갖게 된다[4].

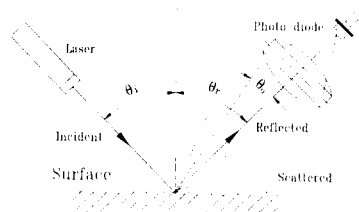


Fig. 1 The conceptual diagram for measurement of flux of scattered light

본 연구에서는 광속비 측정방식을 활용하여 실용화가 가능한 기상계측용 표면 거칠기 측정센서를 개발하였으며, 실제 평면연삭 공정에서의 표면 거칠기 기상계측에 적용하였다. 센서의 제작은 활용성을 높일 수 있도록 간결하게 구성하였다. 광원으로 사용된 다이오드 레이저를 센서부에 포함시킴으로써 측정센서를 콤팩트하게 하였으며, 이론 및 실험으로부터 얻어진 적당한 입사각에서 광원을 고정시켜 표면 거칠기 영역에서의 범용성을 확보하도록 하였다. 또한, 센서를 효율적으로 운용하기 위하여 센서제어장치를 병행하여 개발하였다. 제어장치는 센서에 필요한 동작을 공급함은 물론 센서에서 발생하는 신호를 증폭한 후 샘플링하고 처리하여 디스플레이 하는 기능 등을 갖추고 있으며 사용자에게 편리하도록 기능 설정, 초기화 등을 장치 전면에 구성된 키보드를 이용할 수 있도록 구성하였다. 일반 평면연삭 공정에서 표면 거칠기 측정을 기상에서 실시하였는데 실험결과

2.2 광속비(Flux ratio) 결정방법

참고문헌[5]에서는 광속비를 결정하는 방법이 제안된 바 있으며, Figs. 1,2는 제안된 광속비 측정원리를 설명하고 있다. 광원으로로부터 표면에 입사되는 광은 표면돌기들의 영향으로 산란을 일으킨다. 이때 광원앞에 광분할기를 두어 분할된 입사광의 일부를 집속하여 입사광속을 측정한다. 수광부에서는 표면에서 산란된 광을 크기가 같은 두 개의 평면-볼록렌즈로 집속하여 반사광속을 얻는다. 또한, 두 렌즈 사이에 광분할기를 두어 반사광속을 분할하고 구경을 달리하는 평면-볼록렌즈로 집속하여 또다른 반사광속을 측정한다. 구경이 서로 다른 두 수광렌즈의 유효수광각은 θ_1, θ_2 로 표시되어있다. 이렇게 하여 3개의 광다이오드로 입사광속과 구경을 달리하는 2개의 산란광속을 측정하여 이들간의 관계로부터 측정매개변수인 광속비(Flux ratio)를 얻을 수 있다. 반사광속을 입사광속으로 나누어서 얻어지는 광속비를 FR_1 으로 표현하고, 정반사 방향에 놓인 서로 다른 구경을 갖는 렌즈를 통해 집속한 광속간의 비를 FR_2 로 표현한다.

광속비 FR_1 은 입사광속에 무관하다. 그러나 측정장치나 외적인 조건의 영향으로 광속비와 표면거칠기 관계는 표면 반사율 등에 따라 보정을 해야하므로 범용 측정 장치로는 다소의 문제점을 가진다. 그러나 동일 공정에서는 문제가 되지 않으며 특히 표면의 반사율에 크게 의존하므로 연속 표면의 이상 상태인 표면 연소 등을 감지하는 데에는 오히려 효과가 있다. 한편, FR_2 는 측정장치나 외부 변동 조건등에 무관하므로 표면 거칠기 측정에 보다 효과적일 수 있다. 그러나 이 경우에도 측정매개변수가 표면 거칠기에 간접적으로 대응되므로 최소 2개의 실제 측정된 값으로 보정하여야 한다. 표면이 매우 이상적인 경우에 광속비 FR_2 는 1의 값으로 최대가 되고, 표면이 아주 기친 경우에는 두 렌즈의 구경비로 나타난다. 일반적으로 측정하고자 하는 표면 거칠기영역을 결정할 수 있으며, 사용자의 측정영역에 적합하도록 적절한 렌즈 구경비를 갖는 센서의 설계가 가능하다[5].

3. 측정장치의 구성

3.1 센서의 구성

Fig. 2는 개발된 표면 거칠기 측정센서의 개념도를 보이고 있다. 광원으로 사용된 다이오드 레이저 콜리메이터는 4mW급으로 $\phi 1.5 \times 2.2\text{mm}$ 의 타원형 빔직경을 갖고 있으며, 파장 λ 는 780nm이고 외형 사이즈는 $\phi 10 \times \ell 15\text{mm}$ 정도이다. 광원 앞에 33%의 광분할기를 두어 입사광을 분할하도록 하였다. 분할된 광은 광다이오드에 의해 입사광속이 측정된다. 표면에서 산란되는 광을 받아들이기 위해 평면-볼록렌즈를 두었고 다시 광분할기를 두어 분할된 광을 구경이 더 작은 평면-볼록렌즈로 집속하여 광다이오드로부터 반사광속이 측정되도록 하였다. 광분할기를 통과한 나머지 광은 수광부 처음에 두었던 것과 같은 평면-볼록렌즈로 집속되어 또 다른 광다이오드에 의해 광속이 측정된다. 두 수광렌즈의 유효 수광각은 각각 16.7°, 7.6°로 구성되었다. 광원에 필요한 전원은 제어장치에서 공급되며, 3개의 광다이오드에서 얻어진 신호는 제어장치에서 받아 처리를 하게 된다. Photo. 1은 개발된 측정센서를 보이고 있으며 센서의 크기는 $73 \times 34.5 \times 20\text{mm}$ 이다.

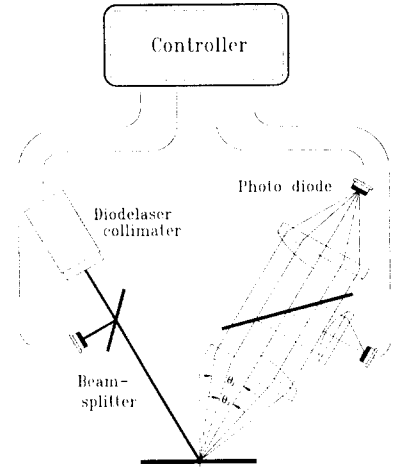


Fig. 2 The schematic diagram of the sensor unit

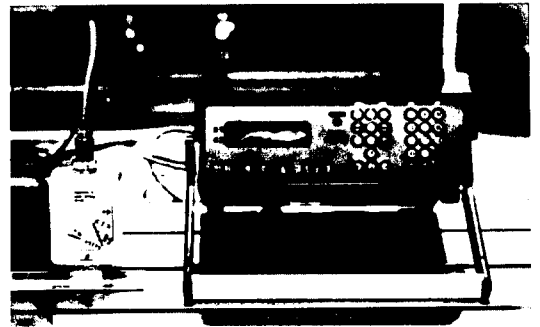


Photo. 1 The sensor unit

3.2 센서 제어장치의 구성

개발된 표면 거칠기 센서를 효율적으로 사용할 수 있도록 전용 제어장치를 개발하였다. 제어장치는 반도체 레이저 구동을 위해 필요한 전원을 공급하기 위한 전원공급장치와 광다이오드에서 감지된 신호를 증폭하고 이를 A/D한 후 필요한 처리를 하여 LCD 디스플레이 하는 기능과 더불어 측정에 관련된 제반사항을 설정하거나 다른 장비와의 인터페이스가 가능하게 하는 통신장치등이 포함되었다. 디스플레이하기 위한 화면은 2개의 채널로 구성되어 사용자로 하여금 동시에 두 가지의 정보를 얻을 수 있게 하였다. 각 채널에서는 입사광속과 2개의 반사광속, 광속비, 표면 거칠기(R_a, R_q) 등을 표현할 수 있게 하였고, A/D 데이터에 대한 평균값을 얻기 위해 적절한 샘플링 수를 설정할 수 있도록 하였다. 특히 가공물의 재질에 무관하게 사용할 수 있도록 2개의 기준시편으로 보정을 할 수 있는 기능을 두어 재질이나 그의 환경에 따라 사용이 가능하도록 하였다.

4. 평면연삭에서의 기상계측 실험

4.1 센서 성능 실험

Fig. 3는 표준시편(RUBERT)에 대한 R_a 값과 개발된 측정센서에서 표면 거칠기 측정매개변수로 하는 광속비 FR_2 와의 관계를 보이고 있다. 비교적 고운 표면에서 감도가 좋으며 넓은 표면 거칠기 범위에서 충분한 변별력을 가지고 있으므로 표면 거칠기 측정센서로서 적합함을 알 수 있다. 측정센서의 장착오차에 대해서는 참고문헌[4]에서 자세히 다룬바 있으며 제시한 광속비 측정방식이 기상 계측에 적합함을 언급하였다.

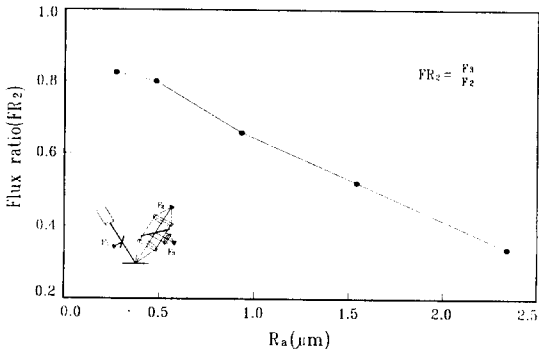


Fig. 3 Measured flux ratio FR_2 with respect to surface roughness(standard samples)

4.2 실험조건 설정

개발된 측정센서를 이용하여 실제 기상에서 표면 거칠기 측정 및 연삭공정에서의 모니터링 실험을 하기위한 제반조건들을 다음과 같이 설정하였다. 연삭기는 평면 연삭기로 연삭 스톨은 일반적으로 많이 사용되고 있는 WA 90 J M을 사용하였다. 연삭선속도는 $\phi 110\text{mm} \times 1800\text{rpm}$, 테이블 이송속도는 150mm/s 로 하고 절입량을 $10\mu\text{m}$, 횡이송량을 0.6mm 로 하여 상향절삭하였다. 측정시점은 초기 드래싱한 후부터 1회씩 연삭 완료 후 연삭입자가 완전히 탈락될 때까지로 하여 반복 측정하였다. 실험에 사용된 가공물은 경도가 HRC-62이고 $28 \times 70\text{mm}$ 의 면적을 갖는 SCM415-H이다. 측정 데이터를 얻는 방식으로는 전체표면에 대한 대표값으로의 신뢰도를 높이기 위해 한 번의 연삭이 공이 완료된 후 전 면적에 대해서 30개의 위치에서 데이터를 얻어 평균을 취하는 방식을 택하였다.

4.3 표면 거칠기 기상계측

설정된 조건하에서 기상에서의 표면 거칠기 측정 실험을 하였다. Fig. 4는 가공표면에서의 위치에 따른 표면 거칠기 R_a 의 산포도를 보이고 있으며, Fig. 5는 가공표면에서의 위치에 따른 측정매개변수 FR_2 의 산포도를 보이고 있다. 실제 연삭 표면은 랜덤한 특성을 가지므로 가공된 연삭표면에 대해 어느 한 점에서의 표면 거칠기값을 그 표면에 대한 대표값으로 인정

하기에는 다소의 문제점이 있다. 특히 측정시의 경우 아주 작은 거리에 대해서 라인 스캔 방식의 표면 거칠기값을 산출하므로 표면 전체에 대한 대표값으로의 신뢰도가 낮다고 할 수 있겠다. 본 연구에서 개발한 센서는 측정시 일정한 면적을 포함하므로 신뢰도가 커지며, 특히 측정값에 대한 평균을 고려하고자 하는 경우는 연삭 표면에 대해 여러위치에서 표면 거칠기를 측정해야 하는 데 개발된 센서는 기존의 측정 방식과 비교할 수 없을 정도의 측정시간 단축효과를 가져온다.

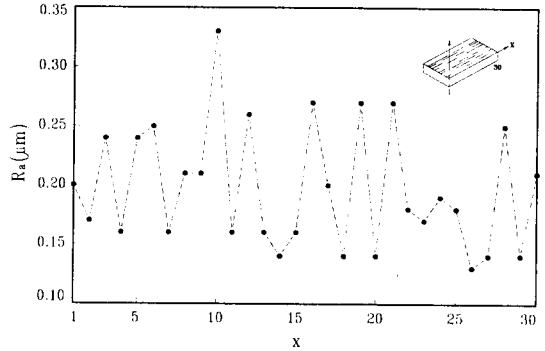


Fig. 4 Variation of surface roughness R_a along X

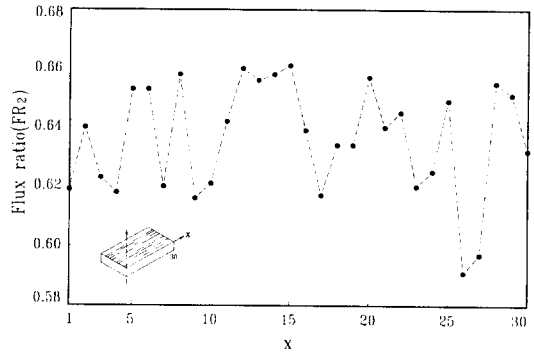


Fig. 5 Variation of flux ratio FR_2 along X

Fig. 6는 여러번의 연삭공정이 진행되면서 측정시점에 대해서 다이아몬드 측정방식으로 측정된 표면 거칠기값을 보이고 있다. 초기 연삭시점으로 부터 비교적 일정하게 유지되던 표면 거칠기값이 가공이 진행되면서 증가하는 것을 확인 할 수가 있다. 표면 거칠기값이 증가하는 B1점은 연삭표면에 국부적으로 약한 연삭 현상이 발생된 때의 값이고, B2점은 표면 연삭 상태가 아주 심각하게 발생했을 때를 나타낸 것이며, E점은 연삭스톨의 입자가 완전히 탈락되고 있을 때의 표면 거칠기값에 해당된다. Fig. 7에서는 Fig. 6의 실험에 대한 표준편차를 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 매 공정마다 표면 전체에 대한 표준편차의 결과로부터 표면 어느 한 위치에서의 표면 거칠기값으로 표면 전체에 대한 대표값을 택하는 것은 어려움이 있는 것을 파악할 수 있다.

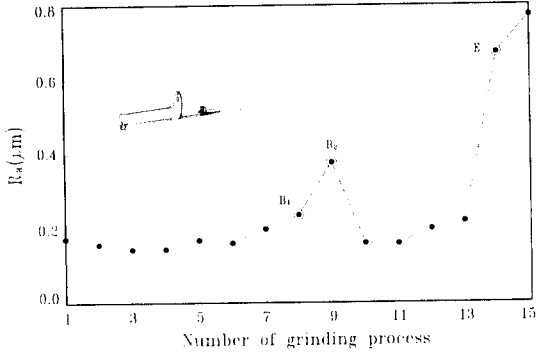


Fig. 6 Surface roughness R_a averaged over the ground surface

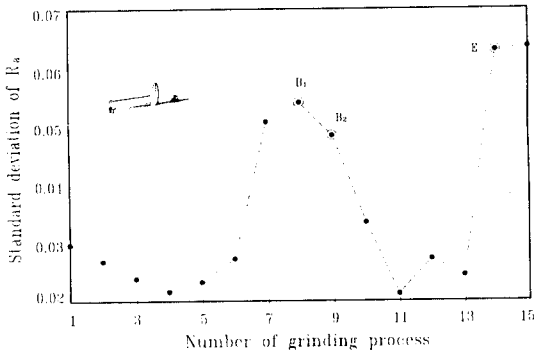


Fig. 7 Standard deviation of R_a over ground surface

Fig. 8,9는 Fig. 6에서와 동일한 조건에서 측정된 광속비 FR_1 , FR_2 를 보이고 있다. Fig. 6에서와 마찬가지로 광속비가 떨어지기 시작하는 B1점은 연삭표면에 국부적으로 약한 표면 연삭현상이 발생한 것을 감지한 것이고, B2점은 표면 연삭 상태가 아주 심각하게 발생했을 때를 나타낸 것이며, E점은 연삭숫돌의 입자가 완전히 탈락되고 있음을 의미하므로, E점에서 드래싱 시기를 결정할 수 있다. Fig. 6과 비교해보면 표면 거칠기가 고출수록 FR_1 , FR_2 는 높게 나타나고 표면 거칠기가 기칠수록 낮게 나타나므로 서로간에는 역의 관계에 있다. 측정결과로부터 광속비 FR_1 이 표면의 상태 변화에 민감한 특성을 보이므로 연삭공정 모니터링에 유용하게 활용될 수 있다. 연삭가공이 진행되면서 매 공정마다 측정된 값이 조금씩 차이를 보이는 것은 본 실험에서 비교 대상으로 삼은 다이아몬드 측정식의 결과인 Fig. 6에서 보듯이 실제 표면의 거칠기가 다르기 때문이다. 여기서 측정된 광속비를 정의된 식에 적용하여 대응되는 표면 거칠기 값을 산출할 수가 있다. 마찬가지로 B1, B2점은 표면이 연소됐을 때 그 표면에서의 표면 거칠기에 대응되는 값이며, 드래싱 시간을 의미하는 E점에서 연삭숫돌 입자의 완전한 탈락으로 인해 연삭표면이 매우 거칠다는 것을 확인할 수 있다.

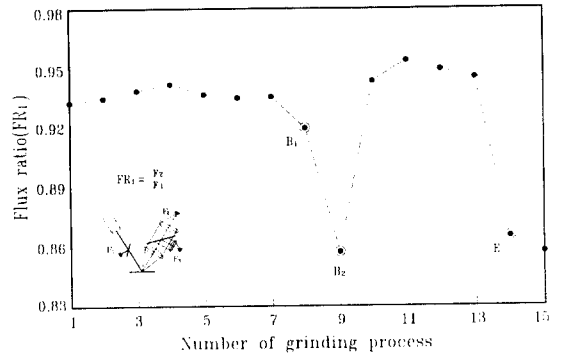


Fig. 8 The flux ratio FR_1 averaged over the ground surface

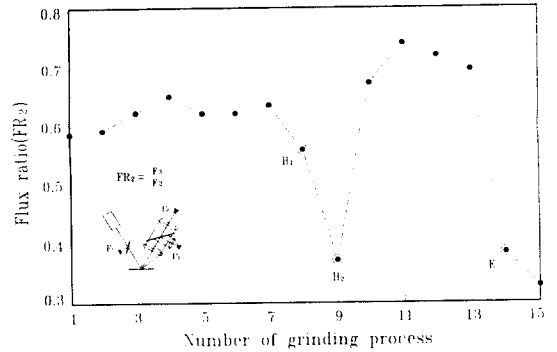


Fig. 9 The flux ratio FR_2 averaged over the ground surface

Fig. 8,9를 비교해 볼 때 경향에 있어서 별 다른 차이가 없는 것처럼 보이지만 FR_1 , FR_2 는 다소의 차이를 보일 가능성이 크다. 표면의 반사율에 크게 의존 특성을 나타내는 FR_1 은 표면 연소에 의해 작은 값으로 떨어지고, 반면에 FR_2 는 표면의 반사율에 의존하지 않으므로 표면 거칠기를 표현하기에 적합하다. 그러므로 FR_1 은 연삭공정 모니터링 차원에서 효과적으로 운용될 수 있으며, 또 다른 광속비 FR_2 는 표면의 거칠기를 측정하는 데 더 효과적일 수 있다. 이와 같이 두 광속비는 각각의 장단점을 가지고 있으며, 개발된 센서는 이들을 효율적으로 활용하고자 동시에 두 가지 모두를 측정할 수 있도록 구성하였다. Fig. 10에서는 Fig. 9의 실험에서의 광속비에 대한 표준편차의 변화를 보이고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 산란광속 측정에 의한 표면 거칠기 측정센서를 개발하였다. 또한 센서의 효율적인 사용을 위해 센서 전용 제어장치를 개발하였다. 개발된 센서를 이용하여 실제 평면연삭 공정에서 가상계측하여 표면 거칠기 측정 및 연삭공정에서

의 모니터링 실험을 하였다. 실험결과로부터 FR_1 은 표면 반사율에 대해 의존성을 나타내므로 표면 연소 등 표면의 변화상대 감지에 효과적이고, FR_2 는 표면 반사율의 영향을 받지 않으므로 표면 거칠기 측정에 더 효과적임을 확인할 수 있었다. 그러나 표면 거칠기에 대한 절대적인 값을 구하기 위해서는 최소 2개의 기준시편을 이용한 보정이 필요하다. 또한 랜덤한 특성을 갖는 연삭 표면에 대해서 특정위치에서 측정된 값을 전체 표면에 대한 대표값으로 하고자 할 때, 개발된 센서는 다소의 직경을 갖는 광원의 사용으로 어느 정도의 면적을 포함하므로 대표값의 신뢰를 확보할 수 있으며, 표면에 대해 절대적인 평균 표면 거칠기 값을 산출하기 위해 여러위치에서 측정을 할 경우 기존의 측정식 측정방식보다는 월등히 짧은 측정시간이 소요되므로 기상계측에 유리하다.

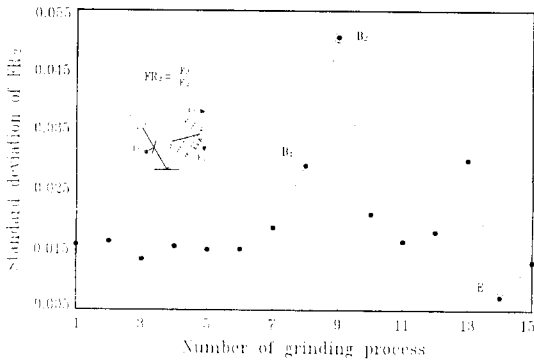


Fig. 10 Standard deviation of FR_2 over the ground surface

참고문헌

1. T.R. Thomas, "Surface roughness : The next ten years", Surface Topography, Vol.1, 1988, pp.3-9.
2. I. Sherrington and E. H. Smith, "Modern measurement techniques in surface metrology: part II: optical instruments", Wear, Vol.125, 1988, pp.289-308.
3. E.C. Teague, T.V. Vorburger and D. Maystre, "Light scattering from manufactured surface", Annals of the CIRP, Vol.30, No.2, 1981, pp.563-569.
4. 김현수, 홍성욱, "기상계측을 위한 광학적 표면거칠기 측정 방식의 개발", 한국정밀공학회지, 제11권 6호, pp.168-178, 1994.
5. 홍성욱, 김현수, "산란광속측정에 의한 연삭가공 표면 거칠기 측정방법", 한국정밀공학회지, 제12권 4호, pp.46-54.